

Lauri Holopainen

Energiavarastojen verkkoon liittämisen periaatteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

26.4.2018

Tekijä Otsikko	Lauri Holopainen Energiavarastojen verkkoon liittämisen periaatteet
Sivumäärä Aika	17 sivua 26.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Palvelupäällikkö Tiia Selonen Caruna Oy Lehtori Sampsa Kupari Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli selvittää enenemissä määrin yleistyvien sähköenergiavarastojen verkkoon liittämisen teknisiä periaatteita. Työ tehtiin Suomen suurimmalle sähköverkkoyhtiölle Caruna Oy:lle. Aihe valikoitui ajankohtaisuuden ja oman mielenkiinnon perusteella.</p> <p>Työssä kerrotaan yleisesti energiavarastoista ja niiden hyödyistä, sekä havainnollistetaan asiaa muutamilla esimerkeillä. Työn tavoitteena oli luoda katsaus sähkövarastojen tämän hetkiseen tilanteeseen ja selkeyttää teknisiä vaatimuksia verkkoon liittämiseksi.</p> <p>Pääpaino oli teknisissä asioissa, kuten liittäminen, suojaus ja mittaus sekä näihin liittyvissä standardeissa ja ohjeissa. Tärkeimmäksi asiaksi voidaan katsoa turvallisuus, kun puhutaan energiavarastojen liittämistä verkkoon. Koska akustot sisältävät yleensä suuren määrän energiaa, tulee niitä käsitellä oikeaoppisesti. Lisäksi on ehdottoman tärkeää varmistua siitä, että verkon vikatilanteissa ei aiheudu takasyöttövaaraa ja että verkon toiminta ei häiriinny varastojen takia. Mikäli vika ilmenee käyttöpaikan päässä, tulee suojauksen irrottaa järjestelmä verkosta ennen kuin verkon suojaus reagoi tilanteeseen.</p> <p>Standardointityö aiheen osalta on yhä kesken. Tällä hetkellä mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438 sekä saksalainen VDE-AR-N 4105 2011-8 määrittävät tärkeimmät reunaehdot varastojen liittämiseksi. Lisäksi Energiateollisuus ry:n ohjeet ja suositukset sisältävät olennaista tietoa.</p> <p>Myös sähkövarastojen määrittely on vielä työn alla, ja tästä johtuen kirjallisuus ja säädökset aiheesta ovat vähäisiä. Sähkön jakelussa on meneillään suurimpia murroksia vuosikymmeniin ja sähkövarastoilla on merkittävä rooli matkalla kohti modernimpaa sähkön jakelua.</p>	
Avainsanat	energiavarasto, akusto, standardi

Author Title	Lauri Holopainen Principles of connecting electrical energy storages to the grid
Number of Pages Date	17 pages 26 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tiia Selonen, Service Manager, Caruna Oy Sampsa Kupari, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>The objective of this study was to clarify the principles of electrical energy storages and their connection to the grid. This study was made for Caruna Ltd. The topic was interesting for the company and the author, and also a current topic in the field.</p> <p>This thesis describes electrical energy storages in general and the benefits of using them. The main goal is in the technical information of connection, protection and measurement and the standards concerning these aspects. In the end of this work, this information is demonstrated by some examples.</p> <p>The safety of the storages can be seen as the single most important thing of this study. As these systems store great amounts of energy, it is crucial to handle them safely. The grid must not get any disturbances as a result of the storages, and there must not be any risk of leakage of the storages in a situation where people are working on the grid. Also when there is a fault in the storage system, the inner protection must react before the protection of the grid does.</p> <p>The standardization work concerning the storage systems is still an on-going process. At the moment, a Finnish standard SFS-EN 50438 and a German standard VDE-AR-N 4105 2011-8 are used for connection and safety of the storages. Also Energiateollisuus ry has some useful advice for the work.</p> <p>One of the biggest renovation in decades is going on in the distribution of electricity, and the storages play a major role in it. Unfortunately at the moment there are only few publications about the subject and the definition of the electrical energy storages is not yet ready.</p>	
Keywords	electrical energy storage, battery, standard

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Eri energiavarastojen periaatteet	2
2.1	Akut	3
2.2	Muut energiavarastot	4
3	Energiavarastojen hyödyt	5
4	Lainsäädäntö ja standardit	8
5	Sähköverkon vaatimukset	10
5.1	Liitäntä	11
5.2	Suojaus	11
5.3	Mittaus	12
6	Esimerkkejä sähkövarastoista	13
6.1	Fortum Batcave	13
6.2	Helen Suvilahti	14
6.3	Siemens Sello	14
7	Yhteenveto	15
	Lähteet	16

1 Johdanto

Fossiiliset polttoaineet ovat yhä merkittävä osa sähkön tuotantoa. Kuitenkin niiden tuottamat kasvihuonekaasut kiihdyttävät ilmaston lämpenemistä ja siksi näiden energiantuotantomuotojen suosio laskee jatkuvasti (Klimstra 2014: 12).

Lisääntyvä energian tarve sekä uusiutuvien energiantuotantomuotojen kasvava suosio ovat syinä sähkön pientuotannon yleistymiseen. Myös kestävien energiaratkaisujen luominen, sähkön toimitusvarmuus ja ikääntyvä infrastruktuuri kannustavat ihmisiä pientuotantoa kohti. (IEC Smart Grid Standardization Roadmap 2010.)

Älykkäällä sähköverkolla pyritään lisäämään hajautettua sähköntuotantoa suurten keskitettyjen voimalaitosten sijaan. Tavoitteena on energia- ja kustannustehokas järjestelmä nykyistä pienemmillä hiilidioksidipäästöillä. (Älykäs sähköverkko 2018.)

Uusiutuvien energiantuotantomuotojen suosion kasvaessa, tulee ajankohtaiseksi kysymykset sähkön toimitusvarmuudesta sekä sähkön laadusta. Aurinko- ja tuulivoima ovat epävakaita ja vaikeasti ennakoitavissa olevia energiantuotantomuotoja. Sähkövarastot ovat yksi potentiaalinen keino, jota käyttämällä voidaan tasapainottaa kulutusta ja tuotantoa sekä hallita paremmin kulutushuippuja sekä hintapiikkejä. (Klimstra 2014: 26.)

Tämän työn tavoitteena oli selventää sähköenergiavarastojen verkkoon liittämisen teknisiä vaatimuksia etenkin pientalojen kokoluokassa. Aihe on mielenkiintoinen ja keskeinen matkalla kohti modernia ja joustavaa sähköverkkoa ja energiajärjestelmää. Työ tehtiin Suomen suurimmalle sähköverkkoyhtiölle Carunalle.

Työssä käytettiin esimerkkeinä muutamia pk-seudun ja lähialueen pioneirihankkeita suuremman kokoluokan sähkövarastoista, joilla pyrittiin havainnollistamaan järjestelmiä kokonaisuudessaan. Kiitos näistä avustaville tahoille Siemensillä, Fortumilla ja Helenillä.

2 Eri energiavarastojen periaatteet

Sähköenergian varastointi voidaan jakaa kolmeen luokkaan: sähköisiin, sähkökemiallisiin, ja mekaanisiin energiavarastoihin (kuva 1). Tässä työssä keskitytään sähkökemiallisiin varastoihin, käytännössä akkuihin. Nopean vasteajan ja modulaarisen rakenteensa vuoksi akut sopivat hyvin energiavarastoiksi sähköverkkoon. (Nokelainen 2013: 18.)

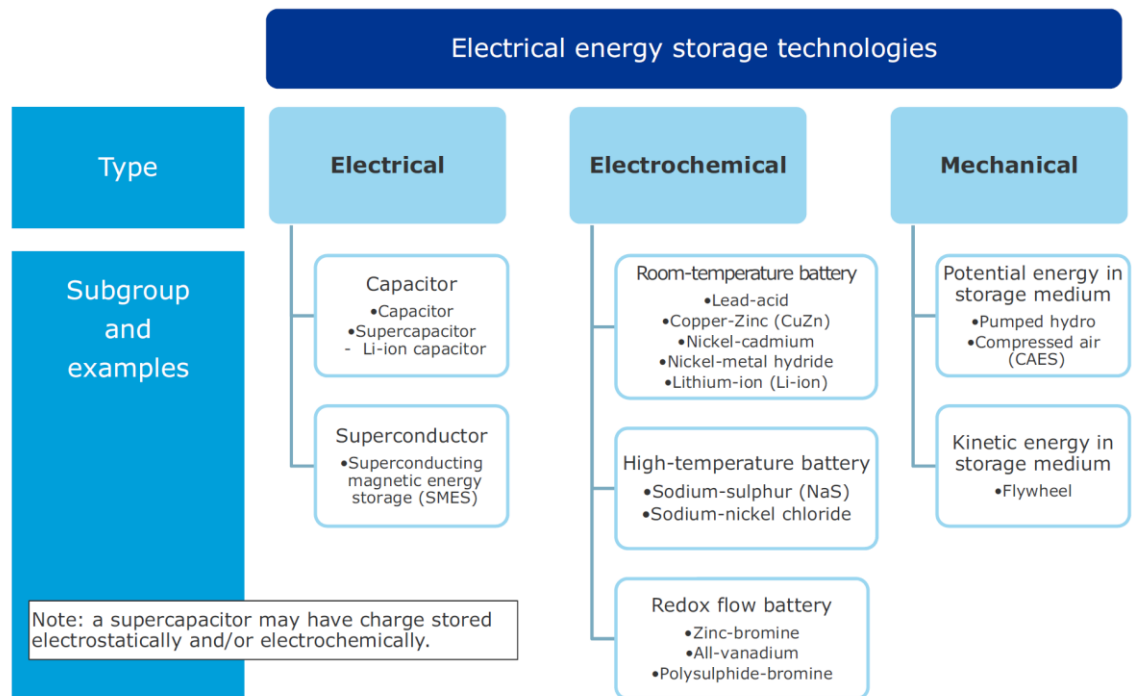


Figure 2-2 Main electrical energy storage technologies for the purpose of grid-connected storage.

Kuva 1. Energiavarastojen tyypit (Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems. 2015).

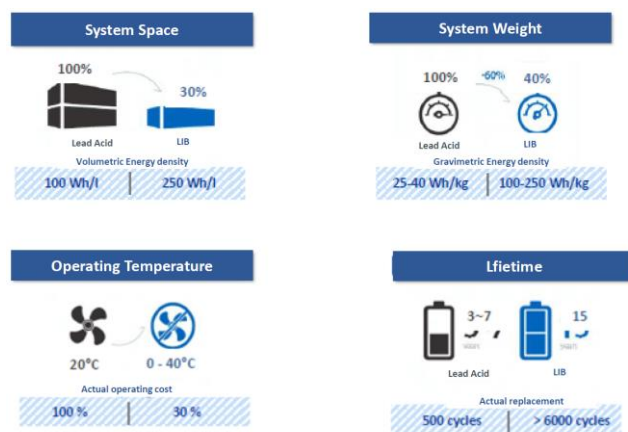
Eri energian varastointimuotoja vertaillen tulee kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:

- varastoidun energian määrä (kWh, MWh)
- teho (kW, MW)
- vasteaika
- muunnettavuus
- itsepurkautuminen
- hyötysuhde
- kustannukset
- turvallisuus

- toimintavarmuus
- koko ja paino
- ympäristötekijät.

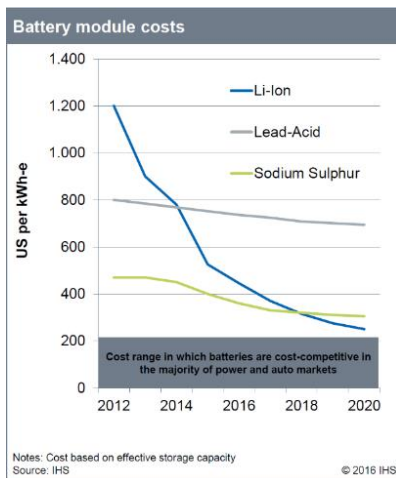
2.1 Akut

Akuissa energia varastoidaan sähkökemialliseen muotoon. Akun perusrakenne sisältää kaksi elektrodia, anodin ja katodin, sekä elektrolyyttiaineen. Litiumakun hyviksi puoliksi voidaan katsoa pieni koko ja paino sekä pitkä elinikä. Akkuja yhteen liittämällä voidaan muodostaa eri kokoisia energiavarastoja. Akkuteknologia kehittyy jatkuvasti. Kuvassa 2 on esitetty litiumakkujen hyviä puolia verrattuna lyijyakkuihin.



Kuva 2. Litiumakkujen etuja (Financing Solar and Storage (PV-S). 2016).

Toinen merkittävä tekijä on akkujen hinnat jotka ovat tulleet voimakkaasti alaspäin viime vuosina. Kuva 3 havainnollistaa hintakehitystä, etenkin litiumioniakkujen kohdalla.



Kuva 3. Akkujen hintakehitys

2.2 Muut energiavarastot

Muita energian varastointimuotoja ovat esimerkiksi pumppuvoimalaitos, vauhtipyörä, paineilmaparasto, sekä sähköautot.

Pumppuvoimalaitos

Pumppuvoimalaitos edellyttää maanpinnan korkeuseroja. Kun tuotanto ylittää kulutuksen, tai sähkön ollessa edullista vettä pumpataan yläaltaaseen. Kun sähköstä on pulaa tai sen hinta on korkealla voidaan vettä laskea yläaltaasta ala-altaaseen turbiinin läpi samalla sähköä tuottaen. Suomessa pumppulaitosten käyttö on vähäistä johtuen pienistä maanpinnan korkeuseroista sekä korkeista investointikustannuksista. (Säätövoima – säädettävää sähköntuotantoa 2018.)

Vauhtipyörä

Vauhtipyörässä sähköenergia muutetaan liike-energiaksi pyörittämällä moottoria ja takaisin sähköksi moottori-generaattori-yhdistelmää käyttäen. Vauhtipyöriä on kahta tyyppiä: high-power flywheels ja long-duration flywheels. Vauhtipyörää ei toistaiseksi pidetä

kustannustehokkaana energiavarastona pitkäaikaiseen energian varastointiin. (Electricity Storages and Renewables for Island Power. 2012.)

Paineilmavarasto

Sähköenergiaa voidaan varastoida paineistettuna ilmaa. Ilma kompressoidaan luonnomukaisiin luoliin tai esimerkiksi hylättyihin kaivoksiin. Takaisin sähköksi energia muunnetaan pyörittämällä paineilmalla turbiinia ja generaattoria. (Nokelainen 2013: 3-5.)

Sähköautot

Sähköautojen lataus ja purku voivat toimia apuna kotitalouksien energian varastointiin. Autot ovat liikenteessä keskimäärin vain neljästä viiteen prosenttia ajasta, joten olisi luonnollista että suurimman osan ajasta ne toimisivat energiavarastoina. Tämä kuitenkin edellyttää kommunikaatiota sähköauton ja rakennuksen välillä. Sähköauton lataus tehtäisiin silloin kun kotitalouden oma sähkön tuotanto ylittää kulutuksen tai kun sähkön hinta on matalalla. Sähköautojen tekniikan ja markkinoiden kehitys on selvässä nousussa, mutta lopullisen läpimurron aikataulua on vielä vaikea arvioida. (Jussila 2010: 30).

3 Energiavarastojen hyödyt

Varastoimalla energiaa lähellä sähkön kulutuspistettä voidaan joissain tapauksissa välttyä verkon vahvistamiselta. Lataamalla energiavarastoja matalan kulutuksen aikana ja hyödyntämällä niitä kulutushuippujen aikana voidaan vähentää verkossa kulkevan tehon määrää. Samalla energiavarastoa voidaan käyttää esimerkiksi sähkön laadun ja toimitusvarmuuden parantamiseen. (Nokelainen 2013: 24.)

Asiakkaiden omistamilla energiavarastoilla pyritään pienentämään sähkölaskua mm. siirtämällä kuormitusta eri ajankohdille ja vähentämällä tehomaksuja sekä ennakoimalla ja hyödyntämällä sähkön hintavaihteluja. Lisäksi pyritään turvaamaan sähkön saanti käyttämällä varastoja varavoimana sähkökatkojen aikana (Functional Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid. 2011: 5-3).

Electrical Power Research Institute (EPRI) kuvaa varastojen toimintaa dokumentissa "Functional Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid (2011. 72-73)" seuraavalla tavalla:

Järjestelmät toimisivat kahdesta neljään tuntia varastoina, pidempäänkin tarvittaessa. Järjestelmät sijoitetaan asiakkaan puolelle mittaria, ja ne voivat toimia saarekkeena mikäli verkossa on katkoksia. Järjestelmät voisivat toimia useammassa tarkoituksessa. Näitä ovat muun muassa huipunleikkaus, jossa järjestelmään syötetyllä algoritmilla voidaan arvioida kiinteistön kulutusta ja siten optimoida varastoidun energian käyttöä. Lisäksi järjestelmät voisivat reagoida reaaliaikaiseen sähköenergian hintaan ja näin optimoida ajankohdat lataamiseen ja purkautumiseen. Järjestelmät voitaisiin suunnitella energiayhtiöiden ohjattaviksi kriittisten tilanteiden varalle ohjattavana kuormana. Uusiutuvan energian aikasiirron ja jännitteen laadun parantamiseen saataisiin myös etua. Sisäisellä algoritmilla voitaisiin vielä lisätä edellä mainittuja hyötyjä. Vikatilanteissa järjestelmät havaitsisivat tilanteen ja irtoaisivat verkosta toimien varavoimana omana saarekkeenaan. Kun verkon tilanne normalisoituu, järjestelmä kytkeytyisi jälleen verkkoon. Vaihtoehtoisesti verkosta erottaminen voitaisiin toteuttaa manuaalisesti ja siten säästää kytkinten kustannuksissa. Järjestelmiä voitaisiin summata yhteen (aggregointi) ja hyödyntää mm. taajuussäätöön ja loistehon kompensointiin. Aggregointi voitaisiin toteuttaa energiayhtiön tai kolmannen osapuolen toimesta. Järjestelmiä voitaisiin hyödyntää DC-, eli tasavirta-pikalataukseen ja sähköajoneuvojen energiavarastoina ja siten vähentää verkosta otettua hetkellistä tehoa sekä säästää latauskustannuksissa.

Kiinteistökohtaisen mikrotuotannon yleistymisen muuttaa sähköverkon perinteistä mallia kohti modernia ja älykkäämpää sähköverkkoa. Etäluettavien mittarien ansiosta Suomen sähköverkosta löytyy jo älykkyyttä. Muita älykkäitä toimintoja ovat esimerkiksi automaattinen vian paikannus ja -erotus sekä verkon käytön optimointi. (Älykäs sähköverkko. 2018.)

Sähkön laatu

Energiavarastoilla pyritään parantamaan pienjänniteverkon sähkön laatua. Sähkön laadulla tarkoitetaan jännitteen suuruutta ja muotoa, taajuutta, yliaaltopitoisuutta sekä kättomuutta. Kiinteistöjen yhteyteen sijoitetuilla energiavarastoilla voidaan parhaillaan parantaa edellä mainittuja sähkön ominaisuuksia.

Verkkoyhtiön on varmistuttava toimittamansa sähkön laadusta. Myös pientuotannon ja varastojen osalta laadun tulee täyttää kriteerit. Liityntäpisteen jännitteen tulee olla vaatimusten mukaista ja laitteisto ei saa heikentää sähkön laatua verkossa. Sähkön laadun tarkemmat kriteerit ovat määritelty standardissa SFS-EN 50160.

Harmoninen kokonaissärö saa olla maksimissaan 8 % liittämiskohdassa. Kokonaissärö ei saa ylittää mainittua rajaa vaikka liittymään lisätään tuotantoa. Standardissa on määritelty rajat yksittäisille harmonisille yliaalloille, välkynnälle ja jännitetasen vaihtelulle liittämiskohdasta mitattuna (Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. Verkosto-suositus YA9:09. 2018: 6).

Taajuussäätö

Kun verkon kuorma ylittää tuotannon, alkaa taajuus laskemaan. Tämä on haitallista monille herkille sähkölaitteille, joten verkon taajuutta valvotaan jatkuvasti. Taajuus pyritään pitämään 49,9 ja 50,1 hertsin välillä. Nopean vasteaikansa ansiosta akkuja voitaisiin käyttää myös taajuussäätöön. Käytännössä tämä koskee suurempia, vähintään 0,1MW akustoja. Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin toiminnasta Suomessa vastaa kanta-verkkoyhtiö Fingrid Oyj. (Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. 2018.)

Aikasiirto

Perinteisessä mallissa sähkön kulutus ja tuotanto vastaavat toisiaan joka hetki. Aikasiirrolla viitataan malliin jossa sähköenergiaa varastoimalla luodaan joustavuutta kulutuksen ja tuotannon välille. Mikäli sähkön tuotanto on suurempaa kuin sähkön kulutus, voidaan ylimääräinen energia varastoida ja hyödyntää silloin kun kulutus ylittää tuotannon.

(Functional Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid. 2011: 15.)

4 Lainsäädäntö ja standardit

Euroopan Unionin tämän hetkisenä tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä vuoteen 2030 mennessä 40 prosenttia siitä mitä ne olivat vuonna 1990. Lisäksi tavoitteena on, että samana vuonna uusiutuvien energiantuotantomuotojen osuus tuotannosta olisi 27 prosenttia ja että energiatehokkuus paranisi vähintään 27 prosenttia. (2030 Climate & Energy Framework. 2018.)

Virallista linjausta siitä, että sähkövarastot rinnastetaan pientuotantoon on vaikea löytää, mutta käytännössä toiminta on pitkälti samankaltaista ja siten verkkoon voidaan hyväksyä sähkövarastot, jotka täyttävät samat standardit kuin pientuotantolaitteet. Tämän voi nähdä Energiateollisuuden yhteisestä pientuotannon ja sähkövarastojen yleistietolomakkeesta (kuva 4).

Energiateollisuus ry:n suosittama yleistietolomake

PIENTUOTANTOLAITTEISTON JA/TAI SÄHKÖVARASTON LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 100 kVA tuotantolaitteiston ja/tai sähkövaraston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle. Verkkoyhtiöllä on oikeus varmistaa, että tuotantolaitteisto täyttää liittämistä koskevat tekniset edellytykset.

Kuva 4. Ote pientuotannon yleistietolomakkeesta (Pientuotannon yleistietolomake. 2018).

Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438 toimii yhtenä teknisenä kriteerinä verkkoon liittämiseen. Myös saksalainen standardi VDE-AR-N 4105 2011-8 hyväksytään. (pientuotannon yleistietolomake). Tämän voi nähdä kuvasta 5.

3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse **YKSI** seuraavista vaihtoehtoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytketymisajat

<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset (sama kuin Energiateollisuus ry:n suositus 2016, tekninen liite 1)	
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<input type="checkbox"/> Jokin muu <i>HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytyy myös lomakkeen kohta 8.</i>

HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä

Kuva 5. Yleistietolomakkeen suojausta koskeva kohta (pientuotannon yleistietolomake. 2018).

Mikäli teknisiä standardeja ei voida noudattaa, on liittyjän ilmoitettava lomakkeessa yli- ja alijännite-, sekä yli- ja alitaajuussuojausten asetteluarvot ja toiminta-ajat. Verkonhaltijalla on oikeus olla hyväksymättä verkkoonsa laitteistoja joiden suojauksen soveltuvuutta verkkoon ei voida varmistaa.

Standardi EN 50438 (2015) määrittää suojauksen arvot taulukon 1 mukaisesti:

Taulukko 1. Kaksiportaisen suojauksen toiminta-ajat ja asetteluarvot (Mikrotuotannon liittämisen sähkönjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09. 2018)

Taulukko 5.1. Liittymän suojauksen asetteluarvot, kaksiportainen suojaus. U_n on nimellisjännite.

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite -taso 1	1,5 s	$U_n + 10 \%$
Ylijännite -taso 2	0,15 s	$U_n + 15 \%$
Alijännite -taso 1	5 s	$U_n - 15 \%$
Alijännite -taso 2	0,15 s	$U_n - 50 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

Mikäli suojauslaitteistolla ei pystytä toteuttamaan kaksia yli- ja alijänniterajoja, tulee taulukon rajoista yhdistellä yhdet rajat. Vaatimukset ovat siis tiukemmat, mikäli käytössä on vain yhdet jänniterajat. Nämä rajat on esitelty taulukossa 5.2.

Mikäli kaksiportaista suojausta ei pystytä toteuttamaan, noudatetaan yksiportaisen suojauksen arvoja taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Yksiportaisen suojauksen toiminta-ajat ja asetteluarvot (Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09. 2018).

Taulukko 5.2. Liittymän suojauksen asetteluarvot, yksiportainen suojaus. U_n on nimellisjännite.

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,15 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	1,5 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

EMC-suojauksen eli sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta seuraavia standardeja voidaan soveltaa mikrotuotannon osalta:

- häiriön sieto: EN 61000-6-1
- häiriön päästö: EN 61000-6-3
- harmoniset yliaallot: EN 61000-3-2
- nopeat jännitteenmuutokset ja välkyntä: EN 61000-3-3.

5 Sähköverkon vaatimukset

Hajautetun tuotannon seurauksena syntyvä kaksisuuntainen tehon siirto luo haasteita yksisuuntaisen tehon siirtoon suunnitellulle jakeluverkolle, etenkin jännitteen ja suojauksen osalta. Älyverkot (Smart Grid) tarvitsevat uutta automaatiota käyttövarmuuden parantamiseksi. Keskeisiä asioita ovat saarekekäyttö ja vikatilanteista palautuminen. Myös rajoitettu muuntajakapasiteetti rajoittaa tuulivoiman tuotantoa tuotantohuippujen aikana. Toisaalta muuntajien ylитоittaminen luo haasteita regulaation ja ympäristönäkökulmien osalta. (Functional Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid 2011: 79)

5.1 Liitäntä

Tuottaja on oikeutettu liittämään tuotantolaitoksensa sähköverkkoon, kun laitos täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. Tuottajalla on oikeus siirtää sähköä verkkoon, kun liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset ja kun sähkölle on ostaja. On ensisijaisen tärkeää, ettei laitos aiheuta häiriöitä verkkoon taikka vaurioita muiden verkossa olevien laitteita. (Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. 2016.)

Energiavarastoja ja näihin liittyviä järjestelmiä liitettäessä verkkoon tarvitaan aina paikallisen jakeluverkonhaltijan (=verkkoyhtiön) suostumus. Verkkoyhtiöön onkin syytä ottaa yhteyttä jo hyvissä ajoin, jotta toimenpiteisiin voidaan tarvittaessa ryhtyä ajoissa. Sähköntuottajan tulee ilmoittaa jakeluverkkoyhtiölle tarvittavat tiedot. Energiateollisuus ry:n mukaan enintään 100 kVA tehoisen voimalaitokselta vaaditaan ilmoitettavaksi vähintään

- tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta
- vaihtosuuntaajan tyyppitiedot
- suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat
- saarekekäytön estosuojauksen toteutus (menetelmä ja toiminta-aika).

(Opas sähkön pientuottajalle. 2012.)

Tuotantoa liitettäessä verkkoon tehdään yleensä tuotannon liittymissopimus, jossa sovelletaan Energiateollisuus Ry:n tuotannon liittymisehtoja.

5.2 Suojaus

Järjestelmien relesuojausta määritettäessä tulee huomioida jakeluverkon vaatimukset ja suojausperiaatteet. Tarvittavat suojausasetukset onkin syytä suunnitella yhdessä verkkoyhtiön kanssa. Asennukset voivat aiheuttaa muutoksia myös jakeluverkon suojaukseen.

Vikatilanteessa järjestelmän suojalaitteiden tulee toimia ja irrottaa järjestelmä verkosta ennen kuin jakeluverkon suojalaitteet toimivat ja irrottavat koko jakeluverkon osan jännitteettömäksi.

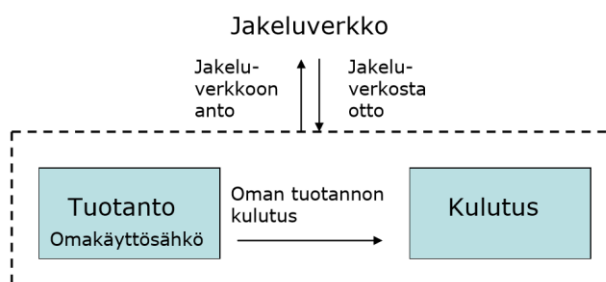
Järjestelmissä tulee olla näkyvä erotuskytkin, jolla voidaan katkaista järjestelmän täysi teho. Jos sähkökatkon aikana syötetään kiinteistön verkkoa energiavarastosta, täytyy kuorma olla selvästi erotettuna jakeluverkosta. Ei saa syntyä tilannetta, jossa jakeluverkkoon tulee jännite, kun esimerkiksi verkon korjaustyöt ovat käynnissä (ns. takasyöttövaara). Verkkoyhtiöllä tulee olla pääsy erotuskytkimeen ja se täytyy voida myös lukita.

Sähköntuotantolaitoksen haltija on vastuussa laitteistonsa tuottaman sähkön aiheuttamista vahingoista muille sähkönkäyttäjille ja verkonhaltijalle, mikäli laitteiston tuottama sähkö ei ole standardien ja muiden vaatimusten mukaista. (Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Tekninen liite 1. 2016)

5.3 Mittaus

Nimellisteholtaan enintään 100 kVA:n sähköntuotanto ei tarvitse omaa mittalaitetta, vaan riittää, että etäluettava mittari mittaa erikseen verkosta otetun ja siihen syötetyn energian. Näitä kahta ei kuitenkaan saa summata. Mittari on verkkoyhtiön omistuksessa ja verkkoyhtiö myös huolehtii sen luennasta.

Nimellisteholtaan yli 100 kVA:n tuotantokäyttöpaikkaan vaaditaan erillinen mittari, jolla saadaan mitattua oman tuotannon kulutus eli kohteessa tuotettu ja itse käytetty sähköenergia. Tilanne on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 1. Kuvassa katkoviivalla rajattu alue kuvaa yhtä sähköliittymää, jossa on sekä sähkönkulutusta että sähköntuotantoa. Nuolet kuvaavat kulkevaa sähköenergiaa. Oman tuotannon kulutuksella tarkoitetaan tuotantokohteessa käytettyä itse tuotettua sähköä. Yli 100 kVA:n tuotantolaitoksella tuotetusta oman tuotannon kulutuksesta on maksettava sähkövero, mikäli tuotantolaitoksen vuosituotanto on yli 800 000 kWh.

Kuva 6. Havainnekuva tuotantokäyttöpaikan mittauksesta (Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. 2016).

6 Esimerkkejä sähkövarastoista

Viime vuosien aikana muutamia suurempia sähkövarastojärjestelmiä on rakennettu pääkaupunkiseudulla. Energiayhtiöt Fortum ja Helen ovat lanseeranneet pilottihankkeena voimalaitosten yhteyteen kytkettyjä sähkövarastoja. Teknologiajätti Siemens puolestaan rakentaa kauppakeskus Selloon virtuaalivoimalaitosta, jonka osaksi tulee suuri energia-varasto. Käyttöönotto hankkeessa on syksyllä 2018.

6.1 Fortum Batcave

Energiayhtiö Fortum otti käyttöön 1.3.2017 suuren litium-ioni-akkuvaraston Järvenpään biovoimalaitoksen yhteyteen. "Baticave" -niminen akku on nimellisteholtaan 2 MW ja energiakapasiteetiltaan 1 MWh. Akku koostuu 6 600 litium-ionikennosta ja sitä voidaan käyttää nopean ohjattavuutensa ansiosta mm. taajuussäätöön, sekä tasapainottamaan energian tuotannon vaihteluita.

Baticave on liitetty voimalaitosverkkoon biovoimalaitoksen yhteyteen. Suojaus on toteutettu 20kV keskijännitetasossa johtolähdön suojaareilla, lisäksi maasulkusuojaus. Syöttö tulee keskukselta akuston välimuuntajalle. Vikatilanteessa syöttökeskuksen katkaisija toimii, mikäli suojaarele tai muut lukitukset havahtuvat. Myös liityntälaitteiston taajuusmuuttajalla voidaan parametroida suojaustoimintoja.

Järjestelmää ohjataan tyypillisesti ylemmältä tasolta, esimerkiksi voimalaitoksen automaatiojärjestelmän kautta etäohjauksena keskusvalvomosta. Ohjaus on mahdollista myös paikallisesti. Energiaa mitataan keskuslähdon yhteydessä kaksisuuntaisesti, jolloin nähdään akun lataus- ja purkuenergia. Laitteisto kykenee loistehon säätöön 360 asteen tehonsäädöllä.

Tämän kaltaisen järjestelmän toteuttamisessa tulee huomioida mm. taajuusmuuttajien EMC-standardit, muuntaja-standardit, keskus- sekä akkustandardit ja lisäksi ympäristön palosuojaus- ja sähköturvallisuus standardit. Haasteena on olemassa olevan tekniikan

yhdistäminen järkeväksi tekniseksi ja taloudelliseksi kokonaisuudeksi. Tässäkin tapauksessa kaksisuuntainen tehonsiirto loi omat haasteensa. (Nieminen 2018)

6.2 Helen Suvilahti

Helen Oy otti käyttöön voimalaitoksen yhteydessä energiavarastojärjestelmän kesällä 2016. Kyseessä on 15 000 :nesta litumioniakkukennosta koostuva sähköenergiavarasto, johon voidaan hetkellisesti varastoida Helenin Suvilahden ja Kivikon aurinkovoimaloiden sähkö.

Varaston teho on 1,2MW ja energiakapasiteetti 600kWh, ja sen tehtävänä on tasapainottaa sähköjakelua, optimoida tuotantoa sekä tasoittaa kuormitushuippuja. Järjestelmä on kytketty suoraan Suvilahden voimalaitosverkkoon ja se osallistuu Fingridin taajuusohjatulle käyttö- ja häiriöreservimarkkinoille.

Kyseessä on pilottihanke, jota käytetään ensimmäiset kolme vuotta tutkimuksiin yhdessä Fingridin kanssa. (Pohjoismaiden suurin sähkövarasto otettiin käyttöön Helsingissä. 2016.)

6.3 Siemens Sello

Siemens Osakeyhtiö rakentaa Espoon kauppakeskus Selloon älykkään energiajärjestelmän, jonka osaksi tulee suuri sähköenergiavarasto. Teholtaan 2MW ja energiakapisteetiltaan 2,1MWh oleva varasto on ainutlaatuinen Suomessa. Järjestelmä muodostaa kauppakeskuksen kanssa virtuaalivoimalaitoksen, joka osallistuu Fingridin tarjoamille reservimarkkinoille. Järjestelmä saa tarvitsemansa sähkö aurinkosähköjärjestelmästä, tai verkosta ostamalla kun sähkö hinta on alhainen. Järjestelmän tarkoituksena on siis optimoida energiankäyttöä. Keinoina tähän toimivat huipunleikkaus, eli itse tuotetun sähkö käyttäminen pienentäen verkosta otettua tehoa, taajuussäätö ja Elspot-optimointi.

Järjestelmän akusto on kytketty 400V verkkoon ja suojattu katkaisijoilla ja sulakkeilla. Akukstoa ohjataan kiinteistöautomaation ja akuston sisäisen automaation yhteistyöllä.

Verkon vikatilanteissa järjestelmä toimii saarekkeena akuston ja varavoimakoneen kanssa. Energian mittaus ja todentaminen tehdään pääkeskusten tasolla taajuusmuuttajien reaaliaikaisten tehotietojen sekä staattisten kuormien perusteella. Kiinteistön sähkön tasa- ja vaihtosuuntaaminen mahdollistaa loistehon säädön. (Laaksonen 2018)

7 Yhteenveto

Insinööriytyössä luotiin katsaus sähköenergiavarastojen yleisiin periaatteisiin, teknisiin vaatimuksiin sekä niiden käyttämiseen osana hajautettua tuotantoa. Työllä pyrittiin selvittämään tämän hetkinen tilanne standardien ja vaatimusten osalta sekä ottamaan selvää tekeillä olevista hankkeista ja yritysten mielenkiinnosta sähkön varastointia kohtaan.

Työssä tutkittiin Energiateollisuus ry:n ohjeita, muita opinnäytetöitä, verkkoaineistoja, kirjallisuutta ja asiantuntijoiden näkemyksiä. Päällisimmät havainnot ovat, että yritykset ovat kiinnostuneita sähkön varastoinnista ja että teknistä ohjeistusta niihin liittyen tulee selkeyttää. Kirjallisuutta verkkoon liittämistä on toistaiseksi saatavilla hyvin vähän.

Luonnollisesti energian varastoinnin tulee olla kannattavaa. Koska akkujen ja aurinkosähköjärjestelmien hinnat tulevat jatkuvasti alaspäin, on odotettavissa niiden yleistymisen sähköverkossa. Myös sähkön varastointiin liittyvät verotukselliset asiat ovat tällä hetkellä ajankohtaisia ja todennäköisesti myös niiden kehitys vaikuttaa varastojen yleistymiseen.

Lainsäädäntö ja määritelmät sähkövarastojen osalta ovatkin siis kaikkea muuta kuin valmiit, ja vaiikkeivat ne välttämättä vaikuta suoraan teknisiin asioihin on niillä selvä vaikutus järjestelmien yleistymiseen ja sitä kautta teknisten asioiden esille nostamiseen. Standardointityö on kuitenkin käynnissä, ja myös EU:n säädökset näillä näkymin kehittyvät. Todennäköisesti sähkövarastojen tekniset ja taloudelliset yksityiskohdat täsmentyvät lähivuosina.

Lähteet

Electricity Storages and Renewables for Island Power. 2012. Verkkoaineisto. International Renewable Energy Agency. <<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Electricity%20Storage%20and%20RE%20for%20Island%20Power.pdf>> Luettu 8.2.2018

Energy Storage Market in Europe. 2016. Verkkoaineisto. IHS. Luettu 7.3.2018

Functional Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid. 2011. Verkkoaineisto. Electrical Power Research Institute. Luettu 21.2.2018

Financing Solar and Storage (PV-S). 2016. Verkkoaineisto. Alexa Capital. Luettu 7.3.2018

Helen uutiset. Pohjoismaiden suurin sähkövarasto otettiin käyttöön Helsingissä. Verkkoaineisto. Luettu 17.3.2018 <<https://www.helen.fi/uutiset/2016/sahkovarasto/>>

IEC Smart Grid Standardization Roadmap. 2010. Verkkoaineisto. <http://www.iec.ch/smartgrid/downloads/sg3_roadmap.pdf> Luettu 19.2.2018

Jussila, Sinikka. 2010. Use of Electricity Storages in Smart Grids. Diplomityö. Tampere University of Technology

Klimstra, Jacob. 2014. Power Supply Challenges. Vaasa: Wärtsilä Finland Oy

Laaksonen, Anssi 2018. Siemens Oy. Sähköpostihaastattelu. 29.3.2018

Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon. Verkostosuositus YA9:09. 2018. Energiatoteellisuus. Luettu 22.2.2018

Nieminen, Roosa. 2018. Fortum Oyj. Sähköpostihaastattelu. 29.3.2018

Nokelainen, Tomi. 2013. Akkupohjaisten energiavarastojen käyttösovellukset tulevaisuuden sähköverkoissa. Insinööritö. Metropolia

Opas sähkön pientuottajalle. 2012. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf> Luettu 3.4.2018

Pientuotannon yleistietolomake. Päivitetty 3.1.2018. Verkkoaineisto. <https://energia.fi/files/2238/Pientuotannon_yleistietolomake_paivitetty_20180103.pdf> Luettu 12.3.2018

Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems. 2015. Verkkoaineisto. DNVGL. Luettu 23.2.2018

Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. 2011. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/1248/Ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon_PAIVITETTY_20160427.pdf> Päivitetty 27.4.2016. Luettu 22.2.2018

Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Tekninen liite 1. Päivitetty 27.4.2016. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/1249/tekni-nen_liite_1_-_enintaan_100_kVA_PAIVITETTY_20160427.pdf> Luettu 22.2.2018

Säätövoima – säädettävää sähköntuotantoa. Energiateollisuus. 2018. Verkkodokumentti. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saatovoima> Luettu 8.2.2018

Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. 2018. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto--ja-hairioreservi/>> Luettu 7.3.2018

Älykäs sähköverkko. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.stek.fi/Alykas_sahkon_kaytto/fi_FI/Alykas_sahkoverkko/> Luettu 15.2.2018

2030 Climate & Energy Framework. 2018. Verkkoaineisto. European Commission <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en> Luettu 14.2.2018